

法政大学学術機関リポジトリ
HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

アルコール及び水添加による小型ガソリン機関の排気特性に関する研究

著者	三橋 大輝
出版者	法政大学大学院理工学・工学研究科
雑誌名	法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編
巻	58
発行年	2017-03-31
URL	http://hdl.handle.net/10114/13480

アルコール及び水添加による小型ガソリン機関の 排気特性に関する研究

A STUDY ON EXHAUST CHARACTERISTICS OF ALCOHOL AND WATER ADDITION FOR SMALL GASOLINE ENGINE

三橋大輝

Daiki MITSUHASHI

指導教員 川上忠重

法政大学大学院理工学研究科機械工学専攻修士課程

Recently, the social concern with the energy conversion technology has been growing from the view point of the energy saving. So it is necessary to achieve low emission and low fuel consumption for the internal combustion engines.

As the first step in this study, experiments have been carried out to examine the influence on the emissions and the brake specific fuel consumption for small gasoline engine by using the ethanol addition fuel and water emulsified fuels.

The main conclusions are as follows; 1) It is possible to control the maximum heat release rate by changing the fuel injection timing. 2) The NO_x emission reduces by using the ethanol addition fuels. 3) The fuel injection timing that can be reduced CO and NO_x emission by using the water emulsified fuels.

Key Words : Alcohol Addition Fuel, Water Emulsified Fuel, Premixed Rate, Exhaust Characteristics

1. 緒論

エネルギー変換技術の多様化により、近年ではハイブリッド車や電気自動車などの普及が進んでいる。しかし従来型の内燃機関も利便性や燃料供給の観点からその需要は増加することが見込まれている。そのため化石燃料の使用削減や、環境汚染の要因となる燃焼生成物の低減が必要である^[1]。

そこで本研究では、アルコール添加燃料と水エマルジョン燃料に着目した。アルコールは含酸素燃料であり、燃焼の活性化、気化潜熱による燃焼温度の減少から燃焼生成物の減少が見込まれる。また植物から生成することができるため、再生可能エネルギーとして期待されている。水エマルジョン燃料とは、界面活性剤を用いることでガソリンと水を混合した燃料である。この燃料は、マイクロ爆発による燃料の微粒化と水の気化潜熱による燃焼温度の低下による燃焼生成物の低減効果があることが同様に知られている。

本研究では、小型ガソリン機関の更なる燃焼生成物の低減、熱発生率及び燃料消費率の向上を目的として、エタノール添加燃料と水エマルジョン燃料のそれらに及ぼす影響について検討を行った。併せて、燃料噴射タイミングを

調整することにより、燃焼状態における予混合割合に関する考察も行った。

2. 実験装置及び実験方法

本実験で用いた実験装置の概略を図 1 に示す。本研究の供試機関は、本田技研工業製 C50E4 ストローク空冷単気筒ガソリンエンジンを用いた。エンジン性能諸元を表 1 に示す。動力の測定には、動力計制御装置(東京メータ BTE5)を用いて動力計(東京メータ EA-10-L)の負荷を 800rpm に設定し、動力計回転数の制御を行った。燃料噴射の制御は、電子燃料噴射装置(FC デザイン製 fi-M digital)を用い、噴射期間を 4.00msec、ポンプ駆動時間を 25.600msec に設定した。また燃料噴射タイミングの制御はカムシャフトに取り付けられたプレートを付け替えることで BTDC 60° から BTDC 180° まで変更した。絞り弁開度を 0%, 33.3%, 66.7%, 100% の 4 つに設定し、各絞り弁開度で排気ガスとエンジン内圧力、軸出力、燃料消費量を測定した。

排気ガスの測定には、リエロジャパン製 Auto5.1 自動車排ガス分析計を用いた。各実験条件において CO, CO₂, HC, NO_x, O₂ を 15 回ずつ測定し、それを算術平均したものを測定結果とした。

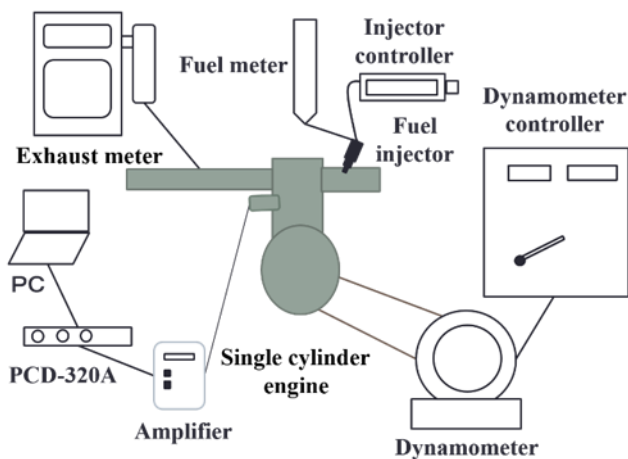


Fig.1 Experimental device

Table1 Engine specification

Engine type	C50E 4stroke cycle
Number of cylinders	Single cylinder
Ignition system	Spark ignition
Cooling system	Air cooling
Bore × Stroke	39.0mm × 41.4mm
Displacement	49cc
Valve system	OHC
Compression ratio	11.0
Maximum output	2.94kW/7000rpm
Maximum torque	4.70Nm/4500rpm

エンジン内圧力の測定には、キスラー社製水冷式ピエゾ型圧力変換器を使用した。測定方式は筒内の圧力履歴を電気信号に変換し、この電気信号を、アンプを介して増幅し、電圧測定用 PCD-320A を用いてパソコンに集積し、エンジン内の圧力測定を行った。

本実験では燃料として、比較対象であるガソリン単体とガソリンにエタノールを 5vol%, 10vol%, 15vol% 添加したもの、ガソリンに水を 1vol%, 3vol%, 界面活性剤を 2vol% 混合したものを使用した。混合燃料はマグネチックスターラーを用いて、攪拌しながら燃料供給を行った。

混合燃料はエタノールを 5vol% 添加したものを E5、水を 1vol% 添加したものを W1、以下同様に E10、E15、W3 と表記する。また燃料噴射タイミングについては基準である BTDC90° を A90 とし、そこからクランクシャフトの角度を 30° ずつ進角させた A120、A150、A180、30° 遅角させた A60 の計 5 パターンで行った。

3. 実験結果及び考察

(1) アルコール添加燃料

図 2 にガソリン単体の、図 3 に E15 のクランクアングル（以下 CA）に対する熱発生の変化履歴を、燃料噴射タイミングをパラメータとして示す。なお、ここでの絞り弁開度は、100%（全開：一定）とした。ガソリン単体の場合、A60、A180 で最大熱発生率は、著しく低下しており、予混合期間に最適な時間が存在することを示している。また

E15 では A120 の時に最大熱発生率が他と比較して増大しており、燃料性状によっても最適な予混合期間は異なっていることが考えられる。

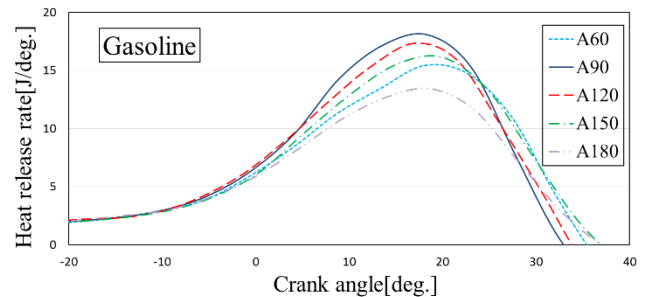


Fig.2 Heat release rate (Gasoline)

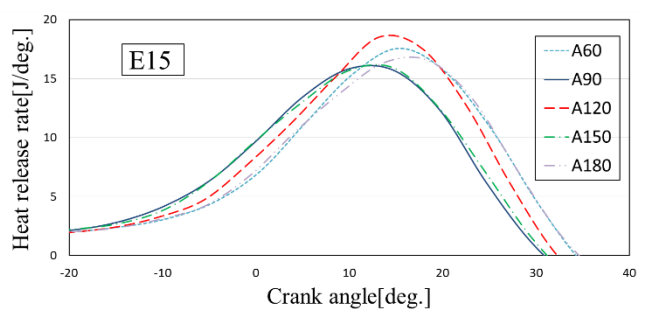


Fig.3 Heat release rate (Ethanol)

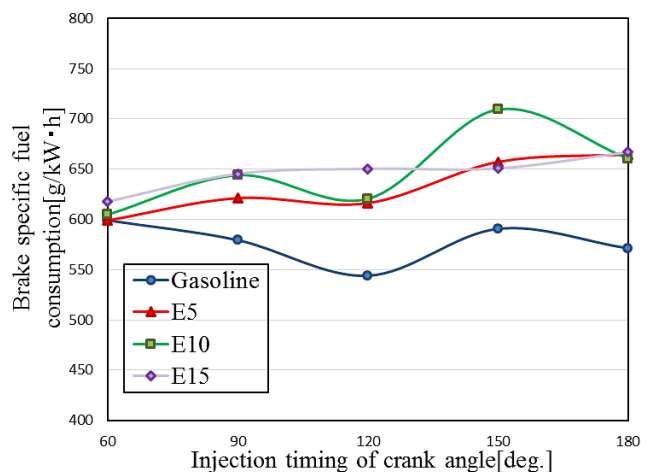


Fig.4 Brake specific fuel consumption (Ethanol)

図 4 に燃料噴射タイミングに対する正味燃料消費率を、燃焼性状をパラメータとして示す。正味燃料消費率はエタノール添加燃料の場合、ガソリンに比べ増大している。これはエタノールの発熱量がガソリンよりも低いことが要因だと考えられる。燃料噴射タイミングに着目すると E10 のとき、A150 で他の燃料噴射タイミングよりも正味燃料消費率が高くなっている。これは燃料噴射タイミングによる燃料の予混合化に偏りが発生しているためと考えられる¹²⁾。また A60 ではガソリン単体以外で、他の燃料噴射タイミングと比較して低減している。これはエタノールの沸点が 78℃と低沸点であり、燃料蒸発が活発になるため混

合気形成が促進され、燃料消費率は改善されたが、ガソリン単体では燃料噴射タイミングが遅角化したことにより予混合に必要な時間が確保できなかったことが考えられる^[3]。

図5に燃料噴射タイミングに対するCO排出量を、燃料性状をパラメータとして示す。CO排出量も正味燃料消費率と同様にガソリン単体に比べてエタノール添加燃料で増加している。これは含酸素燃料であることによるCO排出量の低減効果よりも、エタノールを添加したことによる気化潜熱の影響が増大したため完全燃焼割合の低下によるCO排出量の増加が発生したと考えられる。

図6に燃料噴射タイミングに対するNOx排出量を、燃料性状をパラメータとして示す。NOx排出量はエタノール添加により低減効果が観察された。この図からもエタノール添加による燃焼温度の低減効果が確認できる^[4]。またE5、E10では燃料噴射タイミングによる影響が大きく、燃焼温度に大きな差異が発生していることが考えられる。

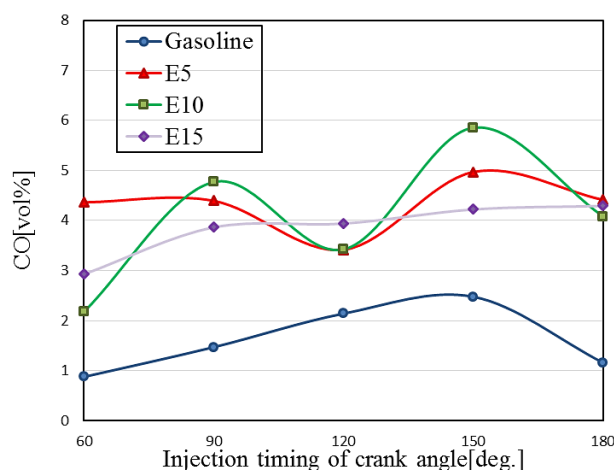


Fig.5 CO Emission (Ethanol)

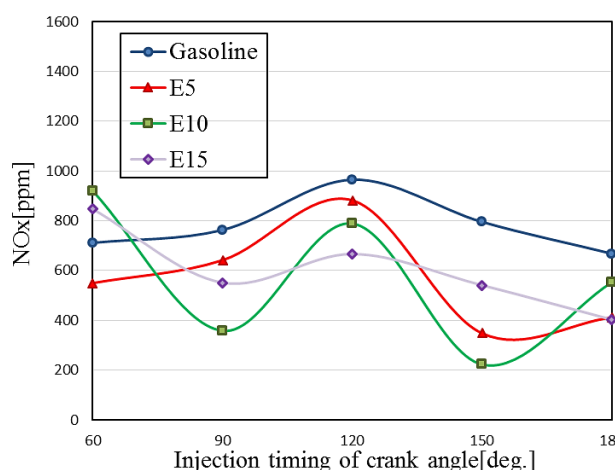


Fig.6 NOx Emission (Ethanol)

(2) 水エマルジョン燃料

図7にW3のCAに対する熱発生の変化履歴を、燃料噴射タイミングをパラメータとして示す。なお、ここでの絞

り弁開度は、100%（全開：一定）とした。W3では燃料噴射タイミングの進角化に伴い、最大熱発生率の観察されるCAが遅角化していることが確認された。

図8に燃料噴射タイミングに対する正味燃料消費率を、燃料性状をパラメータとして示す。この図から明らかなように、正味燃料消費率の最小を示す燃料噴射タイミングがW3で進角化している。これは水エマルジョン燃料の最適な予混合期間がガソリン単体よりも長期化していると思われる。またW3では、他燃料と比較して正味燃料消費率が増加している。これは水を添加したことによる発熱量低下によるものと考えられる。

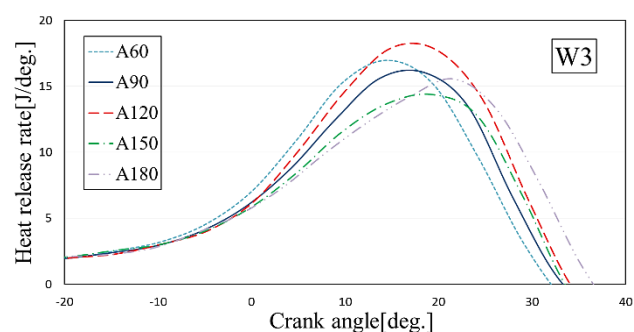


Fig.7 Heat release rate (Water emulsion)

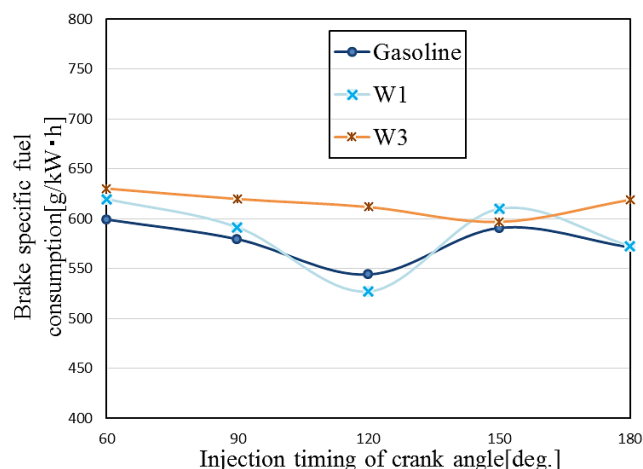


Fig.8 Brake specific fuel consumption (Water emulsion)

図9に燃料噴射タイミングに対するCO排出量を、燃料性状をパラメータとして示す。この図から、水エマルジョン燃料のCO排出量は、W1ではA120で最小をとり、W3ではガソリン単体と比べA60、A180を除いて、低減していたことが見てとれる。これはマイクロ爆発による燃料の微粒化の影響だと考えられる。またA60では予混合期間が短くなったことで予混合化が不十分になり、CO排出量が増加したと考えられる。これらのことから燃料性状によるCO排出量の低減効果が燃料噴射タイミングによって異なっており、燃料により予混合化に必要な期間が異なっていると考えられる。

図10に燃料噴射タイミングに対するNOx排出量を、燃料性状をパラメータとして示す。水エマルジョン燃料は

A90, A120 でガソリン単体と比べて, NOx 排出量は低下している. これは水を添加したことによる燃焼温度の低下によるものと考えられる. また燃料噴射タイミングの進角化に伴ってガソリン単体では NOx 排出量が低減しているが, 水エマルジョン燃料では, あまり変化していない. これはガソリン単体と比べ, ミクロ爆発による燃料の微粒化が最適な予混合状態を維持したことによるものと考えられる.

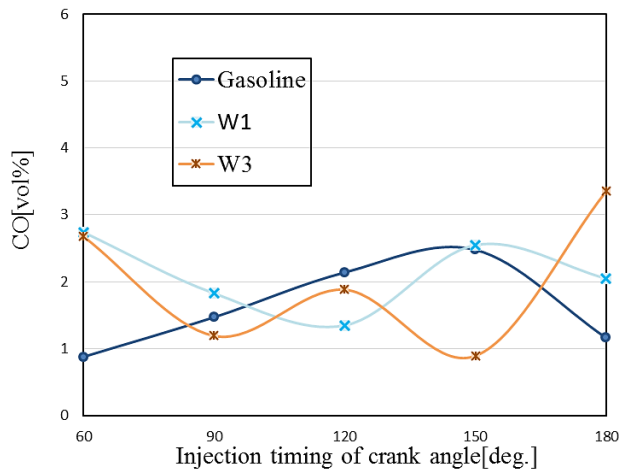


Fig.9 CO Emission (Water emulsion)

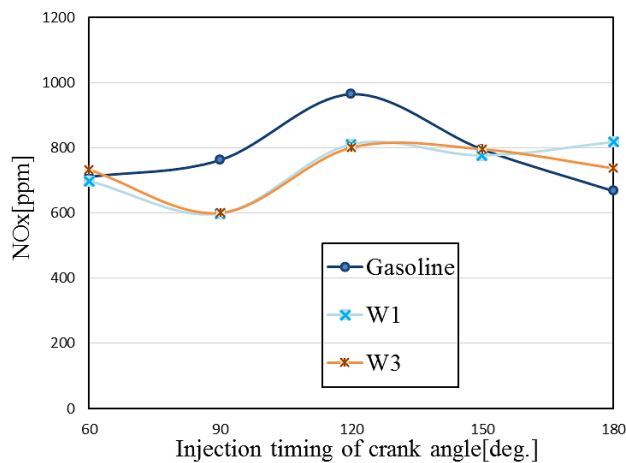


Fig.10 NOx Emission (Water emulsion)

(3) ガソリンとの比較

本研究では, 混合燃料を用いた場合でのガソリンの消費量についても検討が必要であり, 正味燃料消費率からガソリンの消費増大率について(1)式を用いて算出した.

$$GCIR = \frac{BSFC_m \times R_m - BSFC_g}{BSFC_g} \times 100 \quad (1)$$

GCIR : ガソリン消費増大率

BSFC : 正味燃料消費率

R_m : 混合燃料中のガソリンの体積割合

m : 混合燃料, g : ガソリン

図 11 に各噴射タイミングでのガソリンの消費増大率を, それぞれ示す. この図から明らかなように, 各噴射タイミングにおいて, ガソリン単体の消費割合の減少が, 燃料性状により確認された. 特に E15 において, その低減効果が全噴射タイミングにおいて発生しており, エタノール添加によるガソリン消費量の低減効果が期待される.

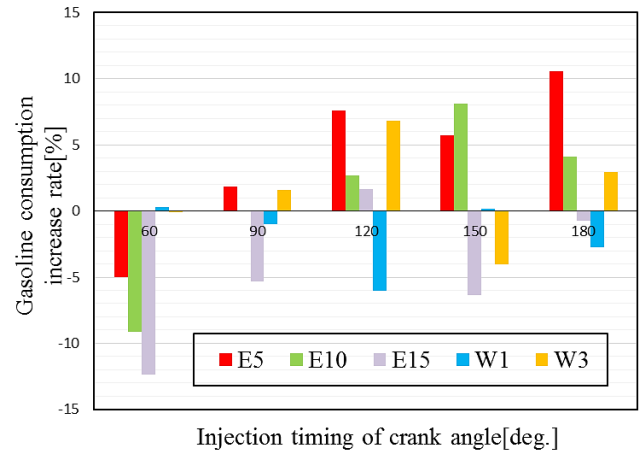


Fig.11 Gasoline consumption increase rate

図 12 に O_2 を 0% に換算した場合のガソリン単体に対する CO 排出量の増大率を示す. ガソリン単体と比べて CO 排出量はエタノール添加燃料, 水エマルジョン燃料ともに増加している. エタノール添加燃料は, 気化潜熱による燃焼温度の低下に加え, 1 サイクル当たりの燃料使用量が増加していたことにより予混合気の空燃比が理論量論側へ移行したことも要因だと考えられる. この 1 サイクル当たりの燃料使用量の差異は, 燃料噴射量の制御方法が燃料噴射装置の噴射期間によるものであるため, 燃料性状により差異が発生したものと考えられる. 水エマルジョン燃料は, W3 では A90, A120 でガソリン単体との差がなく, A150 では CO 排出量が減少している. これは添加率が低いことにより気化潜熱の影響が少なかったことと, 通常よりも早期に噴射することでミクロ爆発が起これ, 予混合化が促進されたことによるものだと考えられる.

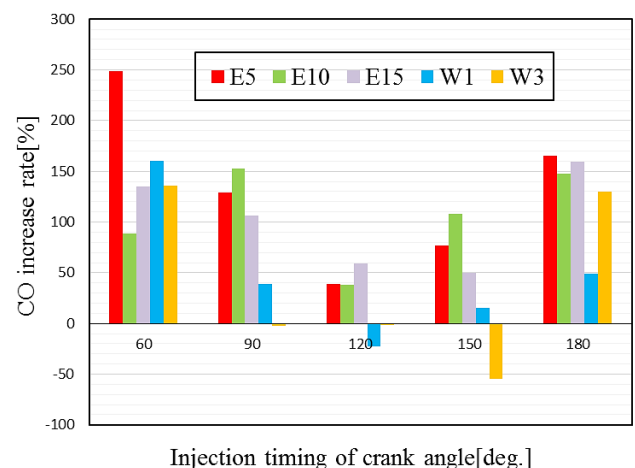


Fig.12 CO increase rate (O_2 0% conversion)

図 13 に O_2 を 0% に換算した場合のガソリン単体に対する NO_x 排出量の増大率を示す。エタノール添加燃料はガソリン単体と比べて NO_x 排出量は減少している。添加率による影響も見てとれるが、それ以上に燃料噴射タイミングの影響が大きい。水エマルジョン燃料は、ガソリン単体と比較して NO_x 排出量はあまり変わらなかった。これは気化潜熱による燃焼温度の低下とマイクロ爆発が引き起こす完全燃焼割合の増加による燃焼温度の上昇が、同程度だったことが考えられる。

本研究の結果から、エタノール添加燃料において CO 排出量の増大は燃料噴射量の増加にも起因していると考えられ、同程度の噴射量に制御することにより、 CO , NO_x の同時低減に関する検討を行う予定である。併せて、エタノールの添加による正味燃料消費率に及ぼす効果の向上のため、エタノール添加率をさらに増加した検討も必要である。本実験では特に水エマルジョン燃料においては CO , NO_x 排出量削減に一定の効果が見られたことから、水の添加率を増大させた場合の安定機関運転条件についても考察を予定している。

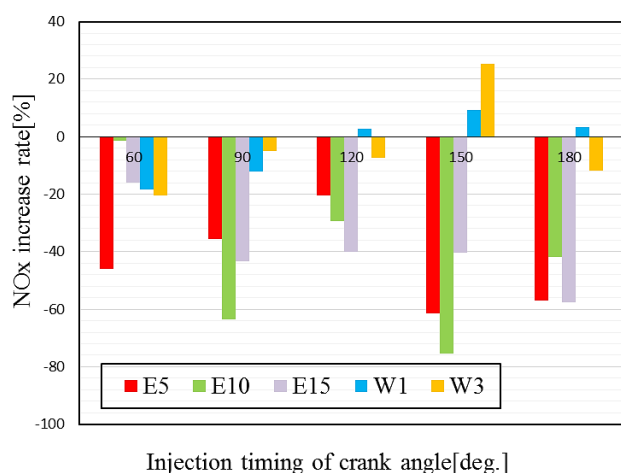


Fig.13 NO_x increase rate (O_2 0% conversion)

4. 結論

本研究では小型ガソリン機関の燃料消費率及び燃焼生成物の低減を目的とし、エタノール及び水の添加割合、ポート噴射における燃料噴射タイミングの予混合化に及ぼす影響について検討を行った。以下に結論を示す。

- 1) 燃料噴射タイミングの調整により、最大熱発生率の制御が可能である。
- 2) エタノール添加燃料により、 NO_x 排出量は低減する。
- 3) 水エマルジョン燃料により、 CO , NO_x 排出量を低減できる燃料噴射タイミングが存在する。

謝辞：本研究を進めるにあたり、ご指導ご鞭撻いただきました、川上忠重教授に深く感謝しお礼申し上げます。また研究活動を行うにあたり、お手伝いいただいたエネルギー変換工学研究室の皆様、エンジンの修理や改良の相談にのって頂いたムサシノホンダサービス様にも深く感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) IEA/ETP (Energy Technology Perspectives) 2012
- 2) 川添博光, 他 3 名: ガソリン機関の混合気形成に関する研究 (混合気形成過程に及ぼす燃焼室形状の影響予測) 日本機械学会論文集 (B 編), 57 巻 533 号(1991-1)
- 3) 尾山宏次, 他 4 名: ガソリンエンジン内の予混合気形成に対する燃料組成の影響—高速ガスサンプリング装置を用いた気筒内混合気の分析— Journal of the Japan Petroleum Institute, 56, (1), 32-43 (2013)
- 4) 三橋大輝・川上忠重: アルコール添加による小型ガソリン機関の排気特性に及ぼす予混合化の影響について 日本機械学会関東支部山梨講演会論文集, No.407 (2016)